

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-222219

(43)Date of publication of application : 09.08.2002

(51)Int.Cl.

G06F 17/50

(21)Application number : 2001-017375

(71)Applicant : HONDA MOTOR CO LTD

(22)Date of filing : 25.01.2001

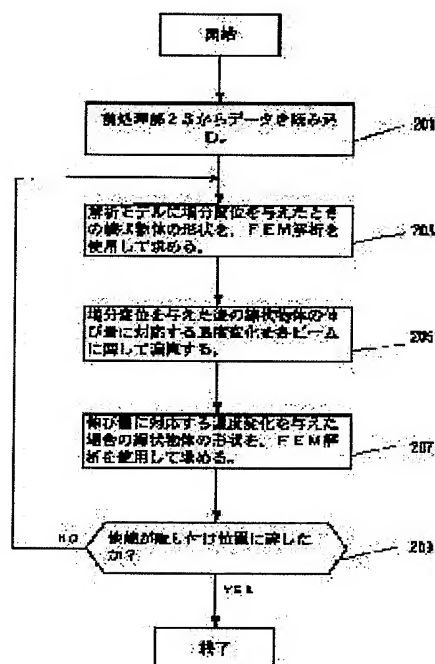
(72)Inventor : SATO KEIJI
 OTANI TORU
 KOBAYASHI KIYOSHI
 SHIBATA TADASHI
 NAKAMURA KOICHI
 NISHIMURA HIDETO
 NEBUTANI HIDETO
 HAYASHI TETSUYA

(54) LINEAR OBJECT SHAPE ANALYSIS DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a device for analyzing a shape of a linear object having geometrically nonlinear characteristic.

SOLUTION: This linear object shape analysis device is provided with a preprocessing part generating an analysis model of the linear object based on input information from a user and an analysis part for converting the elongation of the linear object caused by an acting force into thermal distortion to obtain the shape of the linear object using the analysis model. Since this shape analysis device can analyze by regarding the elongation of the linear object generated in accordance with a force acting on the linear object as thermal distortion, the shape of the linear object can be highly precisely obtained by performing proper conversion. In one embodiment, the conversion of the elongation of the linear object into thermal distortion $\epsilon_{\text{thermal}}$ is computed based on bending distortion k and the outer diameter d of the linear object in the shape analysis device to obtain the shape of the linear object such as a flat steel spring member having a geometrically nonlinear shape.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-222219
(P2002-222219A)

(43) 公開日 平成14年8月9日 (2002.8.9)

(51) Int.Cl.⁷

G 0 6 F 17/50

識別記号

6 1 2

F I

G 0 6 F 17/50

テーマコード* (参考)

6 1 2 H 5 B 0 4 6

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2001-17375(P2001-17375)

(22) 出願日 平成13年1月25日 (2001.1.25)

(71) 出願人 000005326

本田技研工業株式会社
東京都港区南青山二丁目1番1号

(72) 発明者 佐藤 圭史

埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
社本田技術研究所内

(72) 発明者 大谷 徹

埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
社本田技術研究所内

(74) 代理人 100081721

弁理士 岡田 次生 (外1名)

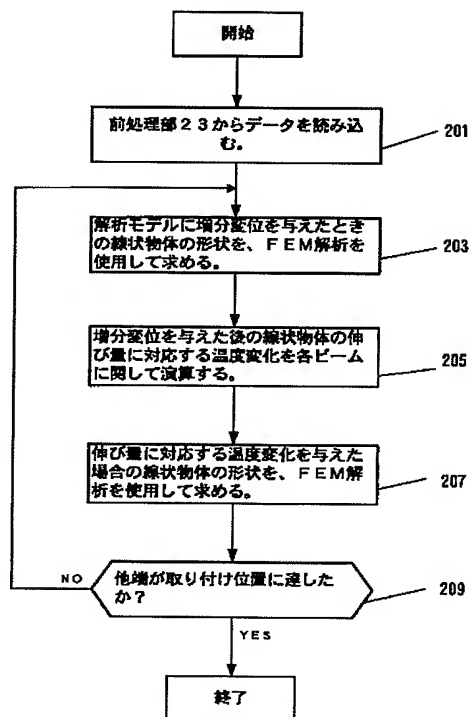
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 線状物体の形状解析装置

(57) 【要約】

【課題】 幾何学的に非線形な特性を有する線状物体の形状を解析する装置を提供する。

【解決手段】 本発明による線状物体の形状解析装置は、ユーザからの入力情報に基づいて線状物体の解析モデルを生成する前処理部と、作用する力により生じる線状物体の伸びを熱歪みに換算し該解析モデルを使用して該線状物体の形状を求める解析部を備える。この形状解析装置は、線状物体に作用する力に応じて発生した線状物体の伸びを熱歪みとみなして解析することができるので、適当な換算を行うことにより線状物体の形状を高精度に求めることができる。1つの実施形態では、形状解析装置において、前記線状物体の伸びの熱歪み $\epsilon_{\text{thermal}}$ への換算は、曲げ歪み k と線状物体の外径 d に基づいて演算される。これにより平鋼バネ材などのような幾何学的非線形を有する線状物体の形状を求めることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 作用する力に応じて変形する線状物体の形状解析装置であって、ユーザからの入力情報に基づいて、線状物体の解析モデルを生成する前処理部と、作用する力により生じる線状物体の伸びを熱歪みに換算し、前記解析モデルを使用して線状物体の形状を求める解析部と、を備える線状物体の形状解析装置。

【請求項 2】 前記線状物体の解析モデルがビーム要素からなる請求項 1 に記載の形状解析装置。

【請求項 3】 前記線状物体の伸びの熱歪み $\varepsilon_{thermal}$ への換算は、曲げ歪み k と線状物体の外径 d に基づいて、次式で演算される請求項 2 に記載の形状解析装置。

【数 1】

$$\varepsilon_{thermal} = \frac{kd}{2-d}$$

【請求項 4】 前記線状物体を 1 つまたは複数の構造物に取り付けたときの形状が求められ、該線状物体と該 1 つまたは複数の構造物のレイアウトが出力される請求項 1 に記載の形状解析装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、構造物のレイアウト解析を行うレイアウト解析装置に関連し、具体的には、幾何学的に非線形な特性を有する線状物体の位置関係を含む形状の解析を高速に行う技術に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、CADシステムなどのコンピュータ支援設計システムは、製品設計における幅広い分野で使用されてきた。特に、CADシステムは、試作前に、様々な部品の形状、配置、組み合わせを検討し、部品配置を最適化することができるので、製品の実装設計、レイアウト設計の分野において利用されてきた。

【0003】CADシステムをレイアウト設計に利用する場合、CADシステムで使用される物体（部品）のCADモデルは、実際の物体を忠実に再現したCADモデルでなければならない。しかしながら、ホース、ケーブル、ワイヤなどの線状物体の場合、取り付け時のクランプ位置などに応じて線状物体の形状が任意に変形（捻れ、曲がり）するので、従来技術のCADシステムでは、実際の線状物体の形状を忠実に再現することが困難であった。

【0004】このような問題に対して特公平7-036193号公報「線状物体のレイアウト解析CADシステム」では、CADシステムに構造解析プログラムを組み込むことによって、実際の取り付け時の状態により近い線状物体の形状を提供している。そこに記載されるCADシステムは、線状物体の長さ、外径、内径、物性値、取り付け位置などをパラメータとして、線状物体の形状を有限要素法（FEM）を用いて解析する。そのように

FEM解析を用いて計算された線状物体の形状は、解析の過程で線状物体の捻れや曲げなどの力学的影響が考慮されるので、実際に線状物体が取り付けられたときの形状に非常に近い形状を再現することができる。特公平7-036193号公報に記載のCADシステムでは、解析された線状物体の形状は、他の物体のCADモデルと組み合わせられ、1つのレイアウト図面として出力される。設計者は、このレイアウト図面から製品のレイアウトを精度良く適確に検討することができる。したがって、FEM解析をCADシステムに利用することは、予測設計力の向上の点で非常に効果がある。

【0005】FEM解析は、設計対象物を数学的にモデル化し、その数学的モデルに関する挙動を解析するシミュレーションと言える。したがって、FEM解析を行う場合、その解析結果の精度は、対象物のモデル化方式に大きく依存する。すなわち、FEM解析において精度の高い解析結果を得るためには、対象物の物理的挙動が考慮された適当な解析モデル（数学的モデル）を提供する必要がある。

【0006】しかしながら、解析精度のみを追求した解析モデルを利用する場合、FEM解析は、一般に複雑となり、演算費用の増大を招く傾向がある。これは、FEM解析が各要素に関するマトリックスに基づいて演算処理を実行することに起因する。すなわち、単に要素分割数や次元数を大きくして解析精度を向上させる場合、演算量は、指数関数的に増大し、必要とされる一時記憶容量も急激に増大する。レイアウト設計の場合、ユーザは、様々な部品の組み合わせや、様々な配置を検討する必要があり、1回のレイアウト解析のために、あまり多くの時間を割くことは好ましくない。

【0007】したがって、FEM解析をレイアウト設計のために使用する場合、比較的短い演算時間で高精度な演算結果が得られるモデル化方式を選択することが重要である。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】有限要素法を用いて線状物体を解析する場合、考えられる第1のモデル化方式は、線状物体を線形ビーム（梁）要素でモデル化する方式である。これは、線状物体が一方向に伸びた構造部材であるので、材料力学における一般的な梁理論に基づき、線状物体をビーム要素でモデル化する方式である。このモデル化方式は、線状物体の形状が、かなり簡略化される一方で、比較的取り扱いが容易であり、演算量が少なく、妥当な解析結果が得られるので有効なモデル化方式である。

【0009】第2の方式は、線状物体を、より次元数の高い線形なシェルまたはソリッド要素でモデル化する方式である。この第2の方式は、第1のモデル化方式と比較すると、線状物体の実際の形状に近い解析モデルを提供し、精度の良い解析結果が得られる可能性がある。し

かしながら、このモデル化方式では、次元数と節点の増加に伴う演算量の増加は避けられない。

【0010】これらの第1および第2のモデル化方式は、ともに線形モデルを使用する。したがって、これらの方式では、非線形な特性を有する線状物体に対して、正確な解析を実行することができない。そのような非線形な特性を有する線状物体の例として、図1に示すような平鋼バネ材11がある。以下に平鋼バネ材11の曲げによる非線形な挙動を説明する。

【0011】図1は、自動車などのスロットルワイヤ、パーキングブレーキワイヤなどに使用される平鋼バネ材11を示す。平鋼バネ材11は、平鋼をスパイラル状にして形成した平鋼バネ13と、その外部を被覆するコート15からなるワイヤである。

【0012】図2は、平鋼バネ材11の初期状態(a)と平鋼バネ材11が純曲げを受けた状態(b)とを示す。図2の(b)に示すように平鋼バネ材11に回転角 θ の曲げが与えられた場合、平鋼バネ材の内周側の長さが増加しないのに対して、外周側の長さが θ に応じて変化する。ここで、回転角 θ の中心に近い側を平鋼バネ材の内周側とし、中心から離れている側を平鋼バネ材の外周側とする。

【0013】このような曲げによる長さの変化は、平鋼バネ材11の幾何形状に起因する。すなわち、平鋼バネ材11の内周側の場合、スパイラルにより生成される内周側の節の部分17での微視的接触によって、平鋼バネ材11の内周側の長さは変化しない。これに対して、外周側の場合、スパイラルにより生成される外周側の節の部分19で接触が生じないので、平鋼バネ材11の外周側の長さは増加する。このため平鋼バネ材11の中心軸21の長さが、曲げ角 θ に応じて変化する。

【0014】この中心軸21の長さの変化は、曲げ変形が生じた場合に中立軸が偏芯することを意味する。例えば一般的な線形梁理論に基づくビーム要素では、内周側の長さが縮小し、外周側の長さが伸長するので、中心軸の長さは一定として取り扱われる。しかしながら、平鋼バネ材11の場合、中心軸21の長さが曲げに応じて伸びるので、一般的な線形モデルでの取り扱いが困難になる。このため、線形モデルに基づいた第1および第2のモデル化方式では、このような幾何的非線形を有する平鋼バネ材11を正確に解析することができない。

【0015】このような線状物体における曲げ一伸び連成挙動は、非線形モデルに基づいたモデル化方式で解析することができる。この第3のモデル化方式では、シェルまたはソリッド要素を用いて、微視的な接触まで考慮し、幾何的に非線形なモデルで線状物体をモデル化する。この第3のモデル化方式では、線状物体の幾何形状に起因する伸びの影響を非線形有限要素法によって考慮することが可能であるので、先に述べた2つの方式と比較して、より実物に近い解析結果を期待することができ

る。

【0016】しかしながら、この第3の方式では、平鋼バネ材の詳細な形状をモデル化する必要があり、平鋼バネ材が曲げられたときの接触に関する条件も必要とされる。そのようなモデル化は、線状物体のモデル化の手間と時間を大幅に増加させる。さらに、非線形有限要素法は、一般に線形有限要素法と比較して複雑になる傾向があり、解析に要する時間を増加させる欠点を有する。

【0017】前記の理由により、従来技術のモデル化方式はいずれも、曲げ一伸び連成挙動を有する線状物体の場合に、高速で高精度な解析装置を提供することができなかった。したがって、本発明は、従来技術と比較して高速で高精度に形状を解析する装置を提供することを目的とする。

【0018】

【課題を解決するための手段】上記の課題を解決するため、本発明による線状物体の形状解析装置は、ユーザからの入力情報に基づいて、線状物体の解析モデルを生成する前処理部と、作用する力により生じる線状物体の伸びを熱歪みに換算し、前記解析モデルを使用して前記線状物体の形状を求める解析部と、を備える。

【0019】この発明によると、線状物体に作用する力に応じて発生した線状物体の伸びを熱歪みとみなして解析することができるので、適当な換算を行うことにより線状物体の形状を高精度に求めることができる。

【0020】この発明の1つの形態によれば、前記形状解析装置において、前記線状物体の解析モデルがビーム要素からなる構成をとる。

【0021】この発明によると、非線形な特性を有する線状物体の形状を、線形梁理論で取り扱うことができるので、演算量を低減し、高速に線状物体の形状を求めることができる。

【0022】この発明の1つの形態によれば、前記形状解析装置において、前記線状物体の伸びの熱歪み $\varepsilon_{thermal}$ への換算は、曲げ歪み k と線状物体の外径 d に基づいて、次式で演算される構成をとる。

【数2】

$$\varepsilon_{thermal} = \frac{kd}{2 - kd}$$

【0023】この発明によると、線状物体の中立軸での伸びを曲げ歪み k と線状物体の外径 d とで表すことができるので、平鋼バネ材などのような幾何的非線形を有する線状物体の形状を求めることができる。

【0024】この発明の1つの形態によれば、前記形状解析装置において、前記線状物体を1つまたは複数の構造物に取り付けたときの形状が求められ、該線状物体と該1つまたは複数の構造物のレイアウトが出力される構成をとる。

【0025】この発明によると、線状物体を構造物に取り付けたときの形状と構造物とのレイアウトが出力され

るので、ユーザは、その出力を確認してレイアウト設計を検討することができる。

【0026】

【発明の実施の形態】次に本発明の一実施例を図面を参照して説明する。図3は、本発明による解析装置31の構成例を示す。本発明による解析装置31は、前処理部23、解析部25、後処理部27、入出力部29から構成され、線状物体の形状を解析することができる。線状物体の例としては、ゴムホース、ケーブル、ワイヤ、平鋼バネ材などが含まれる。これらの線状物体の形状は、取り付け位置などに応じて任意に変形（捻れ、曲がり）する。このため本発明による解析装置31は、線状物体に作用する力学的影響を解析して線状物体の形状を求める。

【0027】例えば、解析装置31は、線状物体が構造物に対して取り付けられたときの形状を解析することができる。その場合、解析装置31は、線状物体の取り付け形状と構造物とのレイアウト図や、その他の部品とのレイアウト図を出力することができる。さらに、解析装置31は、線状物体の取り付け形状の解析結果からレイアウト評価のために有用なデータも計算することができる。これによりユーザは、ディスプレイなどの出力手段を介して、線状物体の取り付け形状や他の部品との位置関係を確認し、レイアウト設計を検討することができる。

【0028】この実施例では、説明を具体的にするために、構造物に対して線状物体が取り付けられたときの形状を解析装置31によって解析するものとする。解析対象となる線状物体は、主として図1に示すような平鋼バネ材11であり、平鋼バネ材11がクランプにより両端で固定されている状態を解析する。このとき、平鋼バネ材11に負荷を与える付属物は存在しないものとする。

【0029】図3における入出力部29は、ユーザ33とのインターフェースを担い、複数の部品に関するデータの入出力を処理する。ユーザは、例えばキーボードなどの任意の入力手段を介して、部品に関するデータを入出力部29に入力する。入出力部29は、入力された部品のデータに基づき、任意の内部形状モデル（ワイヤフレーム・モデル、サーフェイス・モデル、ソリッド・モデルなど）を使用してユーザに部品形状を出力する。出力手段の一例としては、ディスプレイ・モニターへの表示、ハードコピー出力などである。例えば、ディスプレイ・モニターへの表示の場合、ユーザは、同時に表示された複数の部品の配置をディスプレイ上で確認して、レイアウト設計を検討することができる。

【0030】ユーザにより入出力部29に入力される部品に関するデータには、それぞれの部品の形状や位置に関するデータの他に、それぞれの部品の物性値、種類などが含まれる。さらに、線状物体の形状解析に必要なとされる様々なデータが、入出力部29を介して入力され

る。そのようなデータは、それぞれの部品ごとに関連づけられ、線状物体の形状解析のために前処理部23で読み込まれる。

【0031】図4は、前処理部23における前処理の実施例を示すフロー図であり、この図を参照して前処理部23を説明する。前処理部23は、解析に必要な線状物体に関する複数のデータを、入出力部29から読み込み、これらのデータを適当に処理（モデル化、要素分割、経路設定など）して、解析部25にデータを提供する。

【0032】ステップ101において、線状物体の形状データとパラメータが、入出力部29から前処理部23によって読み込まれる。さらに線状物体の取り付け形状を解析するために、他の部品の形状データとパラメータが必要な場合には、それらの形状データとパラメータも読み込まれる。平鋼バネ材11の解析例では、平鋼バネ材11とクランプの両方の形状データとパラメータが前処理部23で読み込まれる。

【0033】ここで形状データは、物体の形状に関するデータである。一般に入出力部29で使用される形状モデルと解析部25で使用される解析モデルとは、それぞれの目的に応じて異なるモデルを使用した方が都合が良い。より具体的に説明すると、入出力部29で使用される形状モデルは、物体の形状を詳細に再現するモデルであり、ユーザに対する表示を主目的としている。それに対して、解析部25で使用される解析モデルは、物体の物理的挙動を再現するようなモデルであり、解析を主目的としている。そのため解析モデルは、形状の細部が省略され、簡略化されることがある。したがって、入出力部29では、表示のために詳細な形状データがユーザにより入力されることがあるが、入出力部29から前処理部23に読み込まれる形状データは、解析モデルを構成するのに最低限必要なデータ（長さ、内径、外径など）でよい。

【0034】前処理部23で読み込まれるパラメータは、物体の物性パラメータ、取り付け条件パラメータ、付属物パラメータ、解析演算に関するパラメータなどである。

【0035】物性パラメータは、物体を構成する材料に固有の材料定数（例えばポアソン比、ヤング率、重量密度など）であり、解析対象に応じた力学的定数である。ここでは、線状物体に関する物性パラメータが読み込まれるのと同時に、必要に応じて他の物体に関する材料定数も読み込まれる。

【0036】線状物体の取り付け条件パラメータは、線状物体の取り付け手段、取り付け位置などに関する情報である。例えば線状物体の取り付け手段は、線状物体を固定するクランプの種類などに関する情報であり、線状物体の取り付け位置は、線状物体を固定するクランプの位置などに関する情報である。これらの取り付け条件パ

ラメータは、ステップ103における解析モデルのモデル化、および解析部25における解析条件などを考慮するために使用される。

【0037】付属物パラメータは、線状物体に何らかの力学的影響を与える付属物が存在する場合に前処理部23に読み込まれる。これにより解析部25は、付属物の力学的影響も考慮することができる。

【0038】解析演算に関するパラメータは、モデル化のためのパラメータやFEM解析のためのパラメータなどであり、例えば要素分割数などがここに含まれる。これらのパラメータは、解析結果の精度、解析時間などを制御する選択肢を提供し、必要に応じて設定される。したがって、これらのパラメータが固定値でよい場合には、これらのパラメータの読み込みは必要ではない。

【0039】ステップ103において、ステップ101で読み込まれたデータから、解析部25のためにモデル化と要素分割が実行される。ここで実行されるモデル化作業は、後述する解析に使用される解析モデルを生成する作業である。先に述べたように解析モデルは、一般的に入出力部で使用される形状モデルとは異なる。FEM解析に使用される解析モデルは、幾何形状が詳細で、実物の形状を詳細に再現しているモデルよりも、むしろ物体の特性を簡単に定式化でき、物体の挙動を低い演算費用で再現することができるモデルであるほうが望ましい。したがって、FEM解析の多くの場合、物体の形状は、必要な解析に応じて、ビーム要素、シェル要素、ソリッド要素などの様々な次元の要素でモデル化される。本発明における解析装置の場合、線状物体が一方方向に伸びた構造部材であるので、解析モデルを線形なビーム要素でモデル化する。このように線状物体をビーム要素でモデル化すれば、FEM解析におけるマトリクスの演算量を大幅に低減し、解析速度の高速化を実現することができる。

【0040】したがって、ステップ103では、線状物体は、ステップ101で読み込まれたデータから、あらかじめ定めた要素分割方法に基づいて、線状物体の中立軸上に節点を持つビーム要素でモデル化される。それと同時に、ステップ101で入力された各パラメータに基づいて、線状物体のビーム要素に関する断面2次モーメント、捻りモーメント、断面積などがそれぞれ計算され、これらの断面特性がビーム要素に関連づけられる。結果として、線状物体の特性に基づいた断面特性（断面2次モーメント、捻りモーメント、断面積）を有する複数のビーム要素が定められ、これらのビーム要素からなる線状物体の解析モデルが生成される。

【0041】ステップ104は、線状物体の取り付け位置に基づいて、線状物体の変位経路を設定し、増分変位を設定するステップである。ここで変位経路とは、線状物体の片端を基準とした場合に、線状物体の他端が、初期位置から他端の取り付け位置までにたどる経路のこと

を言い、増分変位は、その経路をたどる過程において他端に徐々に与えられる変位である。より詳細に説明すると、解析部25における解析では、線状物体の片端を固定し、その他端を自由端とした無負荷の状態を初期状態とする。解析部25は、その初期状態から他端に徐々に変位を与え、徐々に変位が加えられる毎に、その変位に応じた線状物体の形状を求める。徐々に与えられた変位によって他端が所定の変位位置（すなわち他端の取り付け位置）に達した場合、そのときの線状物体の形状が、取り付け時の線状物体の形状として出力される。したがって、本発明による解析装置は、他端が初期位置から取り付け位置までにたどる変位経路と、その過程における増分変位をあらかじめ設定しておく必要がある。

【0042】一般に3次元空間における線状物体の変位経路は、並進移動と回転（捻り）の組み合わせで表現することができる。さらに最終的な取り付け位置が同じで、最終的な回転量も同じであれば、どのような組み合わせの変位経路をたどっても、最終的な線状物体の取り付け形状は、同じになる。したがって、上記の原理に基づき、任意の変位経路と増分変位を定めれば、線状物体の取り付け形状を演算することができる。

【0043】ステップ104では、ステップ101で読み込まれた取り付け条件パラメータに基づいて線状物体の片端の固定位置と他端の取り付け位置が定められ、それらの値に基づいて線状物体の変位経路が任意の手段で設定される。さらに、この変位経路から適当な増分変位が設定される。したがって、設定された増分変位を他端に繰り返し与えると、他端は、設定された変位経路をたどって取り付け位置に達することになる。ステップ104で設定された変位経路と増分変位は、解析部25で読み込まれて解析のために使用される。

【0044】解析部25は、前処理部23で前処理されたデータに基づき、FEM解析を使用して線状物体の取り付け時の形状を求める。図5は、解析部25で実行される処理のフロー図を示し、この図を参照して解析部25を説明する。

【0045】ステップ201で、解析部25は、前処理部23で前処理されたデータ（解析モデル、変位経路、増分変位など）を読み込む。ここで、前処理部23から読み込まれた直後の解析モデルは、なんら負荷がかけられていない線状物体の形状をモデル化している。したがって、この読み込み直後の解析モデルは、最初のループにおける線状物体の形状に関する初期条件を提供する。

【0046】ステップ203では、前処理部23で設定された増分変位を解析モデルの他端に与えた場合の線状物体の形状が、線形FEM解析を使用して求められる。FEM解析は、線状物体の片端を固定して、他端を自由端としたときに、設定された増分変位を他端に与える条件で実行される。この際、増分変位は、設定された変位経路に沿った強制変位として解析モデルに与えられる。

したがって、増分変位を他端に与えたときの各ビーム要素の節点の変位が、解析モデルにおける各ビーム要素の断面特性に基づき、このFEM解析により求められる。

【0047】この各ビーム要素の節点の変位は、弾性体とした場合の線状物体の形状の変化に相当する。しかしながら、この解析結果は、先に述べた平鋼バネ材11のような線状物体における幾何的非線形を考慮していない。このため、ステップ205、207において、幾何的非線形を有する線状物体のために、中心軸の伸びが考慮される。以下でステップ205、207を詳細に説明する。

【0048】FEM解析による計算において歪み ε は、一般に下式に示すように、それぞれ異なる歪み成分の総和として表現される。

【0049】

【数3】

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{elastic}} + \varepsilon_{\text{plastic}} + \varepsilon_{\text{thermal}} + \varepsilon_{\text{creep}} \Delta$$

ここで $\varepsilon_{\text{elastic}}$ が弾性歪み、 $\varepsilon_{\text{plastic}}$ が塑性歪み、 $\varepsilon_{\text{thermal}}$ が熱歪み、 $\varepsilon_{\text{creep}}$ がクリープ歪みを表す。従来技術によるビーム要素を用いたFEM解析は、弾性梁理論に基づいて、解析モデルとして線形ビーム要素を利用している。したがって、そのFEM解析における歪み成分は、弾性歪み $\varepsilon_{\text{elastic}}$ に基づいている。本発明による解析装置は、中心軸の伸び量を近似的に熱歪み $\varepsilon_{\text{thermal}}$ に換算してFEM解析を実行し、これにより曲げ伸び連成挙動を取り扱う。そのため、ステップ205では、中心軸の伸び量に対応する熱歪み $\varepsilon_{\text{thermal}}$ が計算される。この計算方法を図2の平鋼バネ材11の例を参照して説明する。

【0050】図2の(a)に示す線状物体の状態は、強制変位を与える前の線状物体の初期状態に相当し、図2の(b)に示す線状物体の状態は、強制変位を与えた後の線状物体の状態に相当する。この図では、線状物体、すなわち平鋼バネ材11の長さをXとし、その外径をdとする。平鋼バネ材11に強制変位を与えた場合、平鋼バネ材11は、図2の(b)に示すように、その変位に応じて、回転角 θ の純曲げ変形を生じる。このとき、平鋼バネ材11の内周側の長さは、内周側の節の部分17における微視的接触のせいで変化しない。これに対して、平鋼バネ材11の外周側の長さは、外周側の節の部分19で接触が生じないので増加する。したがって、回転角 θ の純曲げ変形による中心軸21の伸び量 δ は、下記の式で表すことができる。

【0051】

【数4】

$$\delta = \frac{d}{2} \theta$$

【0052】さらに、 θ が θ' ($= \theta + \Delta \theta$) に変化した純曲げ変形の場合、伸び δ' ($= \delta + \Delta \delta$) は、下記の式で簡易的に求まる。

【数5】

$$\delta' = \frac{d}{2} \theta' \quad \Delta \delta = \frac{d}{2} \Delta \theta$$

【0053】弾性体として強制変位を与えた場合の平鋼バネ材11の解析モデルの形状変化は、ステップ203において既に求められている。したがって、ステップ203の解析結果に基づいて、回転角 θ を各ビーム要素に関して求めれば、各ビーム要素の変形に伴う中心軸21の伸び量 δ は、近似的に求まる。

【0054】ここで回転角 θ をなす円の半径をrとすると、図2の(b)に示す平鋼バネ材11の曲げ歪み(曲率)kは、下記の式で表される。

【数6】

$$k = \frac{1}{r} = \frac{\theta}{X + \delta}$$

【0055】平鋼バネ材11の中心軸における軸方向歪み ε は、一般に下式で与えられる。

【数7】

$$\varepsilon = \frac{\delta}{X}$$

【0056】したがって、数4と数6を使用して数7を表すと、軸方向歪み ε は、曲率kと平鋼バネ材11の外径dで表すことができ、これを下記の式で表す。

【数8】

$$\varepsilon = \frac{kd}{2 - kd}$$

【0057】一般に、熱歪み $\varepsilon_{\text{thermal}}$ は、一様な断面の棒が ΔT の温度変化によって一様に変化する場合の歪みとして定められ、温度変化 ΔT と線膨張係数 α によって下記の様に表される。

【数9】

$$\varepsilon_{\text{thermal}} = \alpha \cdot \Delta T$$

【0058】ここで、数8で表された軸方向歪み ε を熱歪みと見なし、熱歪みの線膨張係数 α を1とすると、軸方向歪み ε は、下記の式で表すことができる。

【数10】

$$\varepsilon_{\text{thermal}} = \varepsilon = 1 \cdot \Delta T = \frac{kd}{2 - kd}$$

したがって、軸方向歪み ε が熱歪みの温度変化 ΔT によって表現される。この式において、熱歪みが曲率kと平鋼バネ材11の外径dで表されているので、純曲げ変形による伸びは、熱歪みまたは温度変化 ΔT に換算されていると言える。

【0059】本発明による解析装置は、ステップ205において、数10に基づき、線状物体の伸びに対応する温度変化 ΔT を、各ビーム要素に関して演算する。ステップ207では、その伸びに対応する温度変化 ΔT が、ステップ203で得られた平鋼バネ材11の解析モデルに対して与えられ、FEM解析が実行される。このFEM解析は、各ビーム要素の線膨張係数 α を1とし、各ビ

ーム要素に温度変化 ΔT を与えた条件で実行される。したがって、ここでは、ステップ203で得られた解析モデルに対して、熱による各ビーム要素の節点の変位が求められる。

【0060】このFEM解析作業は、熱によって線状物体が膨張したときの形状を求める演算とも言える。しかしながら、温度変化 ΔT と線膨張係数 α は、各ビーム要素の伸び量に対応して与えられている。さらに、一様な断面の棒が一様に変化する場合の歪みとして熱歪み $\epsilon_{thermal}$ が定められているので、結果として、ステップ207で得られる平鋼バネ材の解析モデルの形状は、強制変位を与えた場合の伸び量を考慮した平鋼バネ材11の形状を近似的に表している。この様に工学的に合理的な取り扱いが可能な熱歪みで、簡易的に線状物体の伸びを考慮することにより、強制変位に対する線状物体の形状変化を近似的に求めることが可能になる。

【0061】ステップ209で、平鋼バネ材11の他端の位置が判断される。平鋼バネ材11の他端が所定の取り付け位置に達していない場合、ステップ203に戻り、ステップ208で得られた解析モデルの形状に対して増分変位が与えられ、同様の作業がループとして繰り返される。ループにおけるステップ203の増分変位が、変位経路をたどるよう解析モデルに与えられるので、ループが任意の回数を繰り返した後で、他端の位置は、変位経路の終点位置、すなわち他端の取り付け位置に達する。この取り付け位置に他端が達した場合、ステップ209は、このループを終了し、平鋼バネ材11の取り付け形状が求められたと判断する。

【0062】この様にして得られた線状物体の解析結果を図6に示す。この図では、パーキングブレーキワイヤの取り付け時の形状が、解析結果と実際の実測値とで示される。図6の(a)では、片端が参照番号41に相当し、取り付け位置にいる他端が、参照番号43に相当する。ワイヤの形状は、ワイヤの中心軸を通る点を結んだ線としてそれぞれ示されている。図6の(b)は、図6の(a)における破線で囲まれた部分を拡大した図を示している。参照番号37は、参照番号41と43の部分でワイヤが固定され取り付けられたときの、ワイヤ形状の実測値を示している。参照番号39は、本発明による解析装置31を用いて得られたワイヤ形状の解析結果を示し、参照番号37は、従来技術による解析装置によって得られたワイヤ形状の解析結果を示している。

【0063】従来技術の解析装置による解析結果と実測値との間の最大差違が6.2mmであるのに対して、本発明の解析装置による解析結果と実測値との間の最大差違は、4.4mmであった。したがって、伸び量を考慮して取り付け時の線状物体の形状を解析する本発明の解析装置は、従来技術の解析装置と比較して高い精度を有していることが分かる。

【0064】次に、解析部25の解析結果を処理する後

処理部27に関して説明する。後処理部27は、解析部25から解析結果データを読み込み、解析結果データを様々に処理する。

【0065】後処理部27における処理の1つの実施例としては、解析モデルから形状モデルへの変換がある。解析部25による解析直後の線状物体のモデルは、解析モデルとして出力される。したがって、入出力部29により線状物体の形状の詳細を確認したい場合、解析モデルは、入出力部29で使用する形状モデルに変換され、その形状モデルが入出力部29により出力される。

【0066】さらに、後処理部27は、解析部25からの解析結果データを処理し、レイアウト評価のために有用なデータの演算も実行する。例えば、そのような処理としては、線状物体の最小曲げ半径の計算、総曲げ角の計算、マーキング位置処理などがある。これらの処理を以下に簡単に説明する。

【0067】最小曲げ半径の計算では、線状物体の取り付け形状における最も曲げがきつい部分の半径が計算される。この例を図7を参照して説明する。図7の(a)は、線状物体が解析された直後の解析結果モデルを示す。この解析結果モデルに対して最小曲げ半径の計算を行う場合、線状物体の中心線上の連続する3点に関し、その3点を通過する複数の円が求められる。この状態を図7の(b)で示す。この様にして求められた複数の円の半径の中から最小の半径の値が選択され、この最小の半径が最小曲げ半径の値となる。線状物体上における最小曲げ半径の位置は、その最小の半径に対応する3点のうちの真ん中の点で表される。この様にして計算された最小曲げ半径の表示例を図7(c)に示す。

【0068】次に、図8を参照して線状物体の総曲げ角の計算に関して説明する。解析結果モデル(図8の(a))に対して総曲げ角の計算を行う場合、線状物体の中心線上の複数の点は、連続する3点ごとに組とされる。次に、それぞれの組における連続する3点を通過する円が求められ、それぞれの組に関する角度が求められる。ここで、それぞれの組に関する角度とは、連続する3点のうちの両端の2点それぞれと、円の中心とを結ぶ2つの直線がなす角度をいう。これらの処理のイメージを図8の(b)に示す。最終的に総曲げ角は、それぞれの組に関する角度の総和として求められる。求められた総曲げ角の表示例を図8の(c)に示す。

【0069】上記のような様々な処理の処理結果は、入出力部29によってユーザに対して出力される。したがって、ユーザは、任意の出力手段を介して、これらの出力結果を確認し、レイアウト設計を検討することができる。

【0070】1つの実施例では、これらの解析装置にマーキング位置処理の機能を付加することができる。例えば、ホース上にメーカ・ロゴなどのマークが有る場合、この処理によりホース取り付け時のマークの状態を再現

することができる。図9を参照してマーキング位置処理を説明する。マーキング位置処理は、線状物体上にあるマークが、取り付け時にどのような位置にあるのかを計算するための処理である。例えば、図8の(a)に示すような中心線を結ぶ解析結果モデルでは、線状物体の捻れ状態を把握することが困難である。このため、マーキング位置処理は、線状物体の中心線に対して垂直な複数の直線(ひげ)をモデルに付加することにより、線状物体の捻れ状態の把握を容易にする。

【0071】この「ひげ」は、あらかじめ前処理部29によって解析モデルに与えられる。個々のひげの長さ、線状物体の中心線から外周までの長さで与えられる(すなわち、外径の $1/2$)、ひげの位置は、線状物体上のマークの位置に対応する。図9の(a)で、ひげ45を与えられた解析モデル47を示し、図9の(a)の破線で囲まれた部分の拡大図を図9の(d)で示す。図9の(b)は、解析モデル47の解析後の解析結果モデル49および51を示す。解析結果モデル51は、解析結果モデル49に対して、参照番号53で示す回転(捻れ)を与えた状態のモデルである。図9の(c)は、図9の(b)に基づいてソリッド化処理を行った形状モデルを示す図である。これらの図からも明かなように、ひげ45の位置がそれぞれホース上のマーク位置に対応しているので、ひげ45の外側の先端位置にマークを描くことにより、ホース取り付け時のマークの状態を再現することができる。

【0072】以上、この発明の具体的な実施形態について説明したが、この発明はこのような実施形態に限定されるものではない。

【0073】

【発明の効果】この発明によると、線状物体に作用する力に応じて発生した線状物体の伸びを熱歪みとみなして解析することができるので、適当な換算を行うことにより線状物体の形状を高精度に求めることができる。

【0074】この発明の1つの形態によれば、非線形な*

* 特性を有する線状物体の形状を、線形梁理論で取り扱うことができるので、演算量を低減し、高速に線状物体の形状を求めることができる。

【0075】この発明の1つの形態によれば、線状物体の中立軸での伸びを曲げ歪みと線状物体の外径とで表すことができるので、平鋼バネ材などのような幾何学的非線形を有する線状物体の形状を求めることができる。

【0076】この発明の1つの形態によれば、線状物体を構造物に取り付けたときの形状と構造物とのレイアウトが出力されるので、ユーザは、その出力を確認してレイアウト設計を検討することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 平鋼バネ材を示す図。

【図2】 図1に示す平鋼バネ材の初期状態(a)と平鋼バネ材11が純曲げを受けた状態(b)とを示す図。

【図3】 本発明による実施形態における形状解析装置の構成図。

【図4】 図3の前処理部における前処理の実施例を示すフロー図。

【図5】 図3の解析部で実行される処理の実施例を示すフロー図

【図6】 パーキングブレーキワイヤを取り付けた時のワイヤ形状を解析装置によって解析した解析結果と、実際にワイヤを取り付けた時のワイヤ形状の実測値を示す図。

【図7】 最小曲げ半径計算の実施例を示す図。

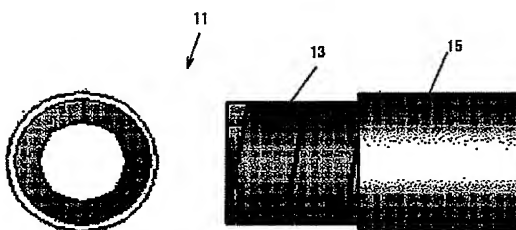
【図8】 線状物体の総曲げ角計算の実施例を示す図。

【図9】 マーキング位置処理の実施例を示す図。

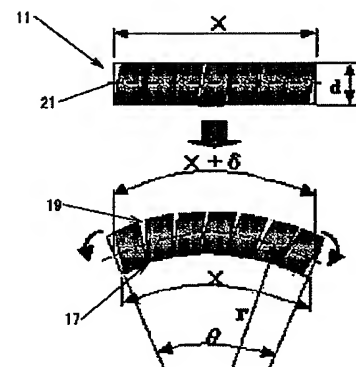
【符号の説明】

23	前処理部
25	解析部
27	後処理部
29	入出力部
31	レイアウト解析装置

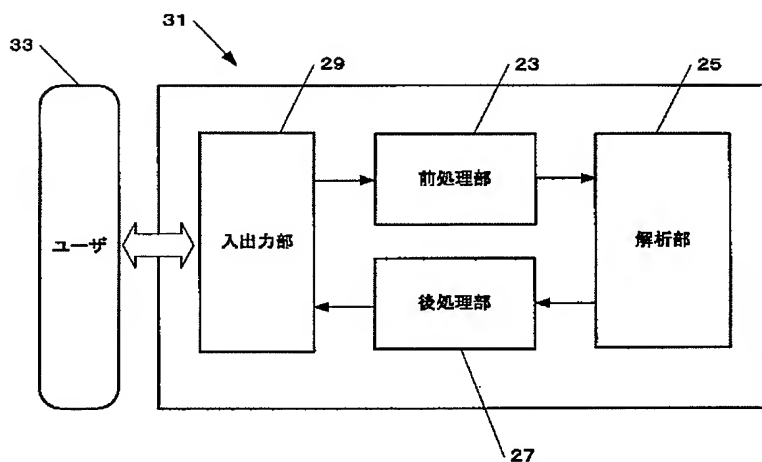
【図1】



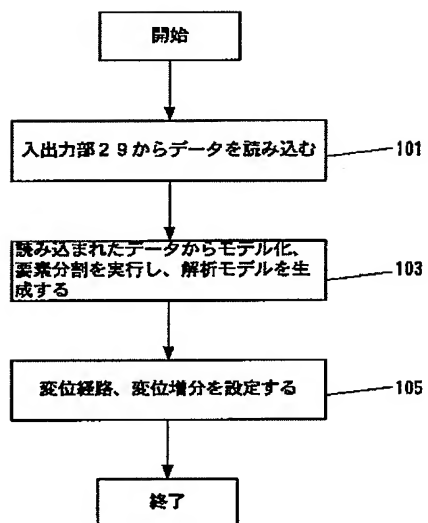
【図2】



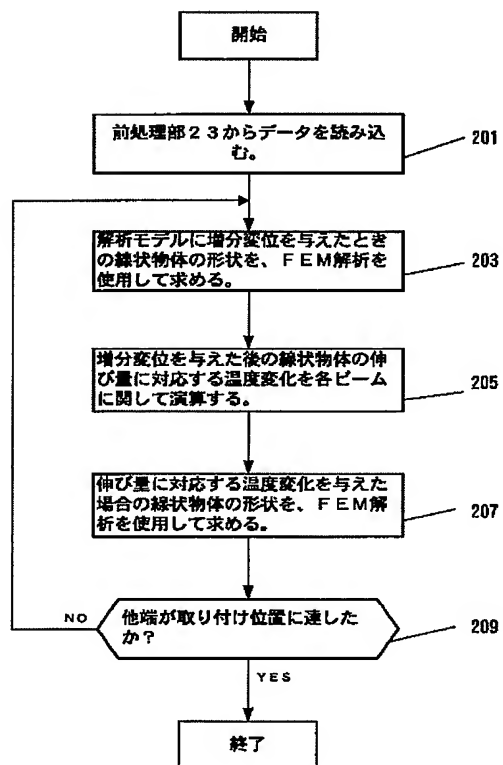
【図 3】



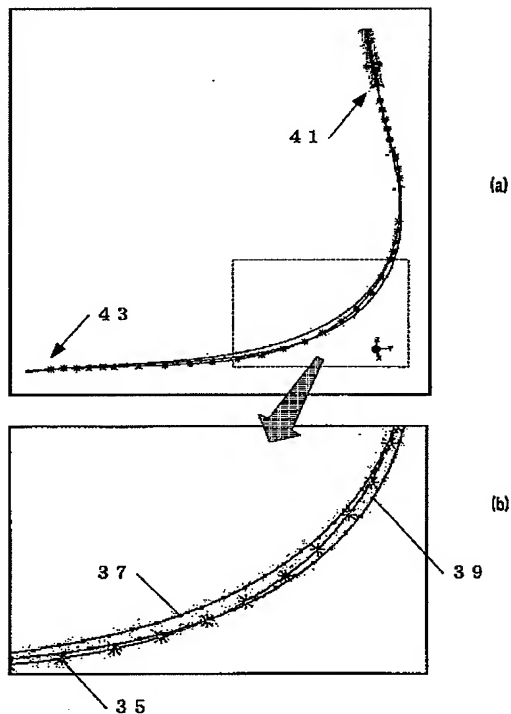
【図 4】



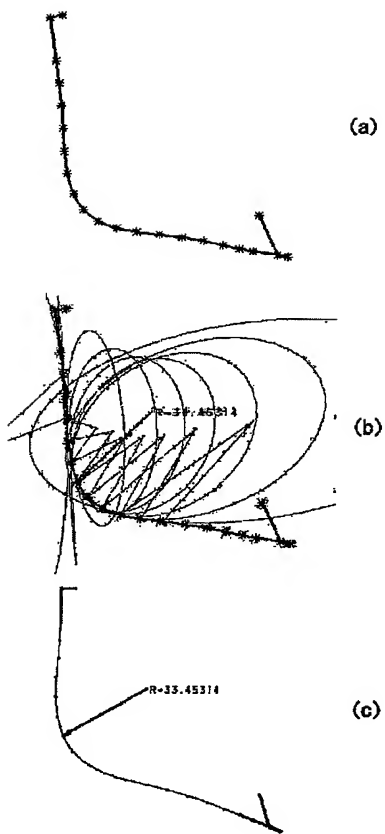
【図 5】



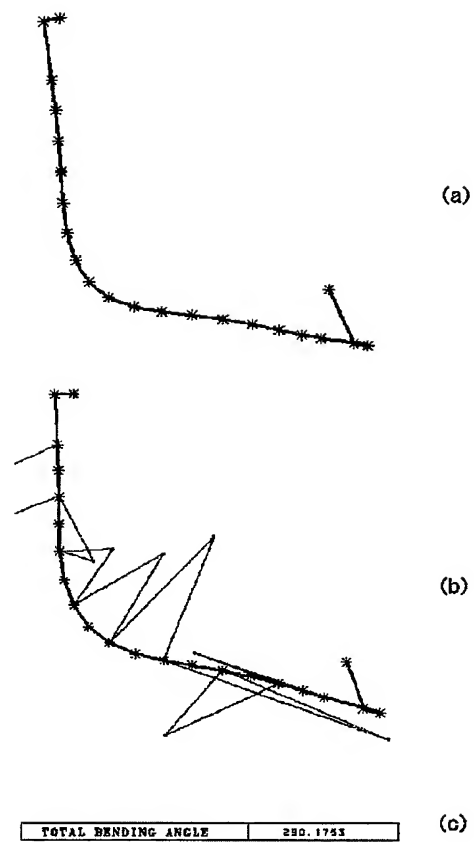
【図 6】



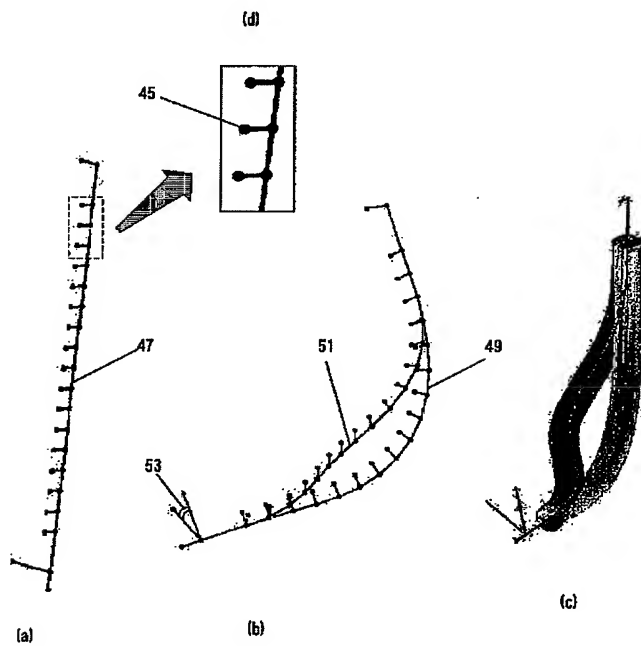
【図7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 小林 清志
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
社本田技術研究所内
(72)発明者 柴田 正
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
社本田技術研究所内
(72)発明者 中村 功一
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
社本田技術研究所内

(72)発明者 西村 英人
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
社本田技術研究所内
(72)発明者 根布谷 秀人
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
社本田技術研究所内
(72)発明者 林 徹也
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
社本田技術研究所内

Fターム(参考) 5B046 AA04 BA01 DA02 JA08